



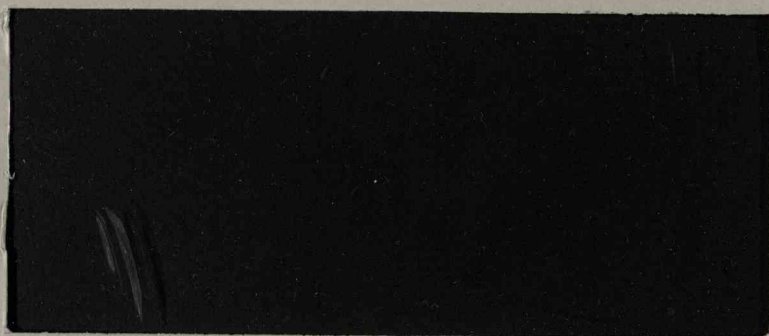
## WORKING PAPERS

W.P. 42

**TEORIE E MODELLI DI LOCALIZZAZIONE DI  
SERVIZI, CON PARTICOLARE RIFERIMENTO  
ALL'ESPERIENZA ITALIANA**

*C.S. Bertuglia, G. Leonardi*





# INDICE

	Pag.
1. INTRODUZIONE . . . . .	1
2. DEFINIZIONE DEL PROBLEMA LOCALIZZATIVO . . . . .	8
3. IL COMPORTAMENTO DEGLI UTENTI . . . . .	12
4. OBIETTIVI E VINCOLI COINVOLTI NEL PROBLEMA LOCALIZZATIVO E CONSEGUENTI STRUTTURE DEI MODELLI <span style="float: right;">W.P. 42</span>	17
5. <b>TEORIE E MODELLI DI LOCALIZZAZIONE DI SERVIZI, CON PARTICOLARE RIFERIMENTO ALL'ESPERIENZA ITALIANA</b>	24
<i>C.S. Bertuglia, G. Leonardi</i>	
6. QUADRO RIASSUNTIVO DEI MODELLI DI LOCALIZZAZIONE DEI SERVIZI . . . . .	31
7. LE SPERIMENTAZIONI ITALIANE . . . . .	35
7.1 Introduzione . . . . .	35
7.2 Caposaldi teorici . . . . .	35
7.3 Sperimentazioni in campo scolastico. . . . .	37
7.4 Sperimentazioni in campo sanitario . . . . .	42
7.5 Conclusione . . . . .	46
8. CONCLUSIONE GENERALE E LINEE DI SVILUPPO FUTURO . . . . .	47
9. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI . . . . .	

Gennaio 1985





## INDICE

	Pag.
1. INTRODUZIONE . . . . .	1
2. DEFINIZIONE DEL PROBLEMA LOCALIZZATIVO . .	8
3. IL COMPORTAMENTO DEGLI UTENTI . . . . .	12
4. OBIETTIVI E VINCOLI COINVOLTI NEL PROBLEMA LOCALIZZATIVO E CONSEGUENTI STRUTTURE DEI MODELLI . . . . .	17
5. I MODELLI DI LOCALIZZAZIONE DI SERVIZI CON FUNZIONE OBIETTIVO DI TIPO ENTROPICO . . .	24
6. QUADRO RIASSUNTIVO DEI MODELLI DI LOCALIZZAZIONE DEI SERVIZI . . . . .	31
7. LE SPERIMENTAZIONI ITALIANE . . . . .	35
7.1 Introduzione . . . . .	35
7.2 Caposaldi teorici . . . . .	35
7.3 Sperimentazioni in campo scolastico. .	37
7.4 Sperimentazioni in campo sanitario . .	42
7.5 Conclusione . . . . .	46
8. CONCLUSIONE GENERALE E LINEE DI SVILUPPO FUTURO . . . . .	47
- RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI . . . . .	52





## 1. INTRODUZIONE

Il problema di localizzazione di servizi, di cui si discuterà, è caratterizzato (e, allo stesso tempo, delimitato) dalla considerazione dei seguenti ingredienti:

- a. un singolo decisore, in genere pubblico, il quale controlla la distribuzione spaziale del servizio (in termini di localizzazione e dimensionamento);
- b. una domanda costituita da una qualche popolazione, più precisamente da una categoria di utenti, in ordine alla quale si assume che si sposti a proprio carico, per recarsi ai posti in cui il servizio viene fornito, onde fruirne;
- c. un criterio di valutazione della distribuzione spaziale del servizio, che, in genere, è fondato su una qualche misura di beneficio degli utenti. Tipicamente, ma non necessariamente, tale misura è connessa con il costo di trasporto o con l'accessibilità, associati agli spostamenti per recarsi ai posti di servizio;
- d. dei costi associati all'installazione ed alla gestio-

ne degli impianti e dei vincoli di budget disponibile e/o di dimensione, minima e massima, dell'unità di fornitura del servizio (Leonardi, 1981a).

La considerazione degli enunciati ingredienti esclude la trattazione di alcuni tipi di servizi; fra gli altri:

1. con riferimento all'ingrediente a., i servizi che hanno una molteplicità di decisori, in genere privati (come i servizi di vendita al dettaglio) (Roy, Johansson, 1981);
2. con riferimento all'ingrediente b., i servizi di cui è prevista la fornitura a domicilio, quindi senza implicare spostamenti da parte degli utenti (come i servizi di fornitura di acqua ecc., ma anche come i servizi di emergenza) (Toregas ed altri, 1971);
3. con riferimento all'ingrediente c., i servizi la cui localizzazione sia decisa con criteri non fondati sulla considerazione del beneficio degli utenti (come, anche qui, i centri di vendita al dettaglio) (Erlenkotter, 1977; Hansen, Thisse, 1977).

Per contro, la considerazione degli enunciati ingre-



dienti permette la trattazione di molti e molto importanti tipi di servizi, come quelli scolastici, la più parte di quelli sanitari, quelli per la cultura e per il tempo libero ecc..

Nella letteratura e nella sperimentazione degli ultimi venti anni, si riconosce l'esistenza di due filoni di studio relativamente indipendenti e con scarsa comunicazione tra loro:

- a. il filone dei modelli di localizzazione ottimale sviluppati nell'ambito della Ricerca Operativa, contraddistinti da un alto grado di raffinatezza algoritmica e di accuratezza per quel che concerne la trattazione dei vincoli dell'offerta, ma poveri per quel che concerne le ipotesi sul comportamento della domanda (Baliniski, 1961; Efroymsen, Ray, 1966; Erlenkotter, 1978; Wolsey, 1983);
- b. il filone dei modelli di localizzazione delle attività sviluppati nell'ambito della Scienza Regionale, contraddistinti da ipotesi economiche e comportamentistiche realistiche per quel che concerne il comportamento della domanda, ma poveri per quel che concerne gli

sviluppi algoritmici e, anche, per quel che concerne la modellazione dell'offerta (Harris, 1964; Lakshmanan, Hansen, 1965; Huff, 1966; Coelho, Wilson, 1976, Hodgson, 1978; Leonardi, 1978).

Negli ultimi anni, un contributo, che alcuni autori hanno cercato di recare, è stato quello di promuovere, direttamente ed indirettamente, l'unificazione dei due sopra descritti filoni, allo scopo di assicurare sia il realismo dei modelli di comportamento della domanda, elaborati nell'ambito della Scienza Regionale, sia l'alto livello di raffinatezza algoritmica e di accuratezza nella trattazione dell'offerta dei modelli elaborati nell'ambito della Ricerca Operativa (Bertuglia, Leonardi, Tadei, 1981; Ermoliev, Leonardi, Vira, 1981; Leonardi, 1981a, 1981b; Leonardi (ed.), 1981; Leonardi, Bertuglia, 1981; Bertuglia, Leonardi, 1982; Leonardi, 1982; Bertuglia, Leonardi, Tadei, 1983; Leonardi, 1983; Erlenkotter, Leonardi, 1985).

Per procedere nel tentativo di unificazione dei due filoni di modelli di localizzazione, è stato necessario chiarire alcuni problemi chiave, sui quali i due filoni facevano riconoscere una netta differenziazione. Essi sono i



seguenti:

- a. i processi di decisione coinvolti in un problema di localizzazione.

Nei modelli sviluppati nell'ambito della Ricerca Operativa viene tacitamente trascurata l'esistenza e la differenziazione di due tipi di operatori di decisione diversi: gli utenti e l'autorità. In effetti, viene spesso fatta confusione tra obiettivi dell'uno ed obiettivi dell'altro tipo di operatore. Per contro, si è ritenuto necessario riconoscere esplicitamente la esistenza e la distinzione tra i due tipi di operatori, nonché la possibilità che, in generale, essi possano perseguire obiettivi ed avere comportamenti non coincidenti, addirittura conflittuali;

- b. i modelli di comportamento della domanda.

In conseguenza della considerazione di quanto sub a., è risultata insostenibile l'assunzione del comportamento degli utenti che è stata sistematicamente adottata nei modelli sviluppati nell'ambito della Ricerca Operativa, fondata sulla regola di recarsi all'impieg

to di servizio più vicino; mentre, è apparso più sensato adottare i modelli fondati sulla teoria dell'interazione spaziale, che ammettono una certa dispersione di preferenze attorno al comportamento basato sulla regola di recarsi all'impianto di servizio più vicino, come si è fatto nell'ambito della Scienza Regionale;

c. la struttura dei costi e dei vincoli.

Si sono riconosciuti i limiti delle formulazioni, in genere usate nei modelli sviluppati nell'ambito della Scienza Regionale, quali l'assunzione di linearità e l'assenza della considerazione di economie di scala, e si è ritenuto necessario sostituirle con quelle più realistiche, comunemente usate nei modelli sviluppati nell'ambito della Ricerca Operativa, allo scopo anche di recuperare l'apparato di tecniche e di algoritmi, che è stato ivi elaborato per risolvere i problemi di ottimizzazione che conseguono alla presenza di strutture complesse di costi e di vincoli.

Non si può concludere questa introduzione senza fare cenno ad un tema di ricerca, tuttora aperto e di fonamen-



tale importanza per la natura stessa dei problemi localizzativi: quello della formulazione dei problemi localizzativi in termini dinamici. La dinamica è connaturata ai problemi localizzativi, sopra tutto, per via delle modalità secondo cui vengono attuati gli interventi, le quali, nella realtà, sono necessariamente graduali ed articolate nel tempo. La maggior parte dei modelli esistenti sono, invece, statici, o meglio di equilibrio generale, in quanto prevedono l'attuazione simultanea di un intero piano di interventi, senza gradualità né ritardi e senza tener conto delle interazioni dei nuovi interventi con la realtà preesistente. Sembra importante, nella ricerca futura, sviluppare tecniche che permettano una ottimizzazione dinamica dei problemi localizzativi, valutando opportunamente i costi ed i benefici associati alle diverse fasi del piano, e non solo al suo risultato finale. Primi contributi all'analisi del problema della localizzazione dinamica sono rintracciabili in Sheppard (1974) ed in Erlenkotter (1979), anche se, per la verità, tali contributi, rientrando nel filone sviluppato nell'ambito della Ricerca Operativa, presentano i limiti già evidenziati. Il problema della localizzazione dinami

ca in una prospettiva più ampia è proposto in Leonardi (1981a, 1981b). Un trattamento più approfondito degli aspetti dinamici dei sistemi localizzativi, visti anche nelle loro interrelazioni con il sistema dei trasporti, è oggetto dello studio pluriennale condotto dall'IRES per il Progetto Finalizzato Trasporti del C.N.R.: risultati sono già stati prodotti nel corso del primo anno e sono contenuti in Bertuglia ed altri (1984a, 1984b), in Sistemi Urbani (1984, n. 3) ed in Bertuglia ed altri (eds.) (1985).

## 2. DEFINIZIONE DEL PROBLEMA LOCALIZZATIVO

Nelle decisioni localizzative per i servizi, in generale, si riconoscono due obiettivi fondamentali:

- a. fare sì che il complesso degli impianti del servizio sia il più vicino possibile al complesso della domanda, in modo da ridurre i costi di trasporto;
- b. mantenere il complesso dei costi di installazione e di gestione del complesso degli impianti del servizio



il più basso possibile, sia scegliendo localizzazioni a basso costo sia riducendo il numero degli impianti del servizio.

Poiché i due introdotti obiettivi sono, in genere, in conflitto, è necessario trovare un compromesso tra gli stessi. La necessità di trovare un tale compromesso determina la generazione di problemi localizzativi non ovvii.

Per costruire uno schema di riferimento generale, è utile articolare il problema localizzativo in due sottoproblemi:

- a. il sottoproblema dell'allocazione, cioè della definizione dello schema di spostamenti tra le residenze degli utenti e le localizzazioni degli impianti del servizio. Ne consegue che il sottoproblema dell'allocazione è, essenzialmente, legato al sopra introdotto obiettivo a.;
- b. il sottoproblema della localizzazione degli impianti del servizio, cioè della scelta delle ubicazioni in cui installare gli impianti del servizio. Ne consegue che il sottoproblema di localizzazione è, essenzial-

mente, legato al sopra introdotto obiettivo b..

Naturalmente, i due sottoproblemi sono interrelati e non possono essere risolti separatamente. Tuttavia, ciò non significa che essi siano, necessariamente, controllati dallo stesso decisore, né che i due tipi di decisori siano in accordo.

La fig. 1 mostra il modo in cui i due sottoproblemi interagiscono.

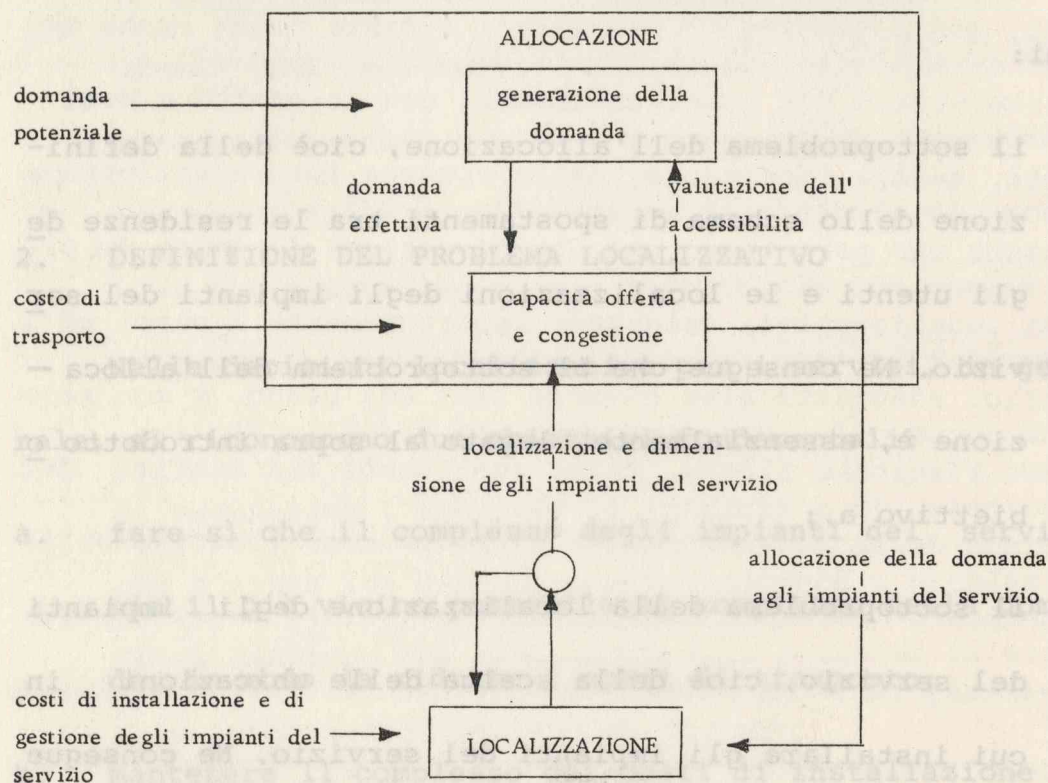


Figura 1 Schema generale del sistema di allocazione e localizzazione



Nella fase di allocazione, i decisori principali sono gli utenti, i quali costituiscono la domanda. Essi compiono le seguenti operazioni:

- a. confrontano il costo di trasporto e la capacità offerta dai diversi impianti del servizio e valutano, di conseguenza, l'accessibilità ad essi;
- b. scelgono l'impianto a cui recarsi, generando quindi, nel loro complesso, uno schema di spostamenti.

Nella fase di localizzazione, in generale si ha un unico decisore: una qualche autorità. Costui compie le seguenti operazioni:

- a. confronta le localizzazioni e dimensioni degli impianti del servizio esistenti con la domanda ad essi allocata;
- b. valuta i costi e benefici, associati sia con lo stato attuale del sistema sia con sue eventuali modificazioni;
- c. genera un nuovo assetto di localizzazioni e dimensioni degli impianti, installandone di nuovi e, eventualmente, chiudendone di vecchi.

Si fa notare che lo schema descritto nella fig. 1 è sufficientemente generale da includere anche una trattazione dinamica del problema della localizzazione dei servizi. In effetti, le operazioni sopra descritte sono meglio interpretabili in termini dinamici, cioè distribuendole con gradualità nel tempo, piuttosto che in termini statici. Tuttavia, nella maggior parte delle sperimentazioni lo schema di fig. 1 è stato considerato nella sua configurazione di equilibrio generale, cioè nella sua versione statica.

### 3. IL COMPORTAMENTO DEGLI UTENTI

Lo scopo principale di questo punto 3. è quello di introdurre assunzioni più specifiche sul funzionamento della fase di allocazione. Poiché, come si è visto in precedenza, i decisori di tale fase sono gli utenti, quanto sopra equivale ad introdurre assunzioni più specifiche sul comportamento degli utenti nella scelta degli impianti del servizio presso cui recarsi.

Come già detto in 1., il modo di affrontare tale pro-



blema, tradizionalmente usato nell'ambito della Ricerca Operativa, consiste nell'assumere l'ipotesi che gli utenti si rechino all'impianto del servizio più vicino. Tale ipotesi è limitativa ed in contrasto con l'evidenza empirica per i seguenti motivi:

- a. essa assume che il costo di trasporto sia, per gli utenti, l'unico elemento di valutazione. Per di più, essa assume che gli utenti ne abbiano una conoscenza perfetta. Per contro, dall'osservazione empirica, è noto che esiste una dispersione attorno all'alternativa di costo minimo, poiché non solo il costo di trasporto, ma anche altri fattori, misurabili e non, nonché variabili da individuo ad individuo, determinano la scelta;
- b. si deve tener presente che i modelli di localizzazione sviluppati nell'ambito della Ricerca Operativa, correntemente usati per la localizzazione dei servizi, o riginariamente sono stati costruiti per risolvere problemi di localizzazione di attività economiche, quali impianti industriali, magazzini ecc.. In tali problemi, non solo la localizzazione, ma anche l'allocalazio-

ne (ad esempio, i flussi di merci) è decisa da un unico operatore, il quale ha come unico obiettivo quello di minimizzare i costi. Pertanto, in tali casi, la regola dell'impianto più vicino è giustificata. E', però, contraddittorio estendere tale regola ad un problema di localizzazione di servizi, in cui l'allocazione è decisa dalla domanda, e quindi non è controllata da un unico decisore.

Un'alternativa alla regola dell'impianto più vicino è offerta dai modelli di domanda fondati sulla teoria dell'interazione spaziale. Tali modelli, in uso da lungo tempo nella Scienza Regionale, sono stati inizialmente sviluppati su base empirica. In tempi più recenti, per detti modelli sono state proposte diverse giustificazioni teoriche. Tra esse, le più importanti sono:

- a. l'approccio della massimizzazione dell'entropia (Wilson, 1970);
- b. l'approccio della teoria delle utilità casuali (McFadden, 1974).

In ordine ai due citati approcci teorici, è importan-



te sottolineare quanto segue:

- a. ambedue derivano il modello di domanda da un principio di ottimizzazione (la massimizzazione dell'entropia nel primo caso, la massimizzazione dell'utilità nel secondo caso). E', questa, una proprietà importante ai fini della formulazione di un problema localizzativo in termini di programmazione matematica;
- b. nonostante l'apparente diversità, i due approcci conducono alla stessa forma di modelli di domanda. Ciò è importante ai fini della costruzione di un approccio unificante.

A titolo di esempio, qui di seguito si dà la formula generale di un tipico modello di interazione spaziale:

$$T_{ij} = P_i \frac{f(c_{ij})w_j}{\sum_j f(c_{ij})w_j}, \quad (1)$$

ove:

i e j indicano, rispettivamente, la zona di origine della do

manda e la zona di destinazione dell'impianto del servizio;

$T_{ij}$  è il numero di utenti residenti in  $i$  che usano l'impianto in  $j$ ;

$P_i$  è la domanda totale in  $i$ ;

$w_j$  è una misura di attrattività dell'impianto in  $j$ ;

$c_{ij}$  è il costo di spostamento tra  $i$  e  $j$ ;

$f(c_{ij})$  è una funzione monotona decrescente non negativa, in genere chiamata impedenza o sconto spaziale o attrito della distanza.

Per la funzione di impedenza sono assunte, in genere, forme tipiche, quali una esponenziale negativa od una potenza negativa. Dal punto di vista teorico, l'esponenziale negativa è quella da preferirsi per motivi di coerenza sia con il principio di massimizzazione dell'entropia sia con la teoria delle utilità casuali.

Si fa notare che la formulazione dell'allocazione mediante un modello di interazione spaziale costituisce una generalizzazione della semplice regola dell'impianto più vicino, la quale è inclusa come caso limite, che si produ-



ce quando la funzione di impedenza diventa infinitamente rigida all'origine.

#### 4. OBIETTIVI E VINCOLI COINVOLTI NEL PROBLEMA LOCALIZZATIVO E CONSEGUENTI STRUTTURE DEI MODELLI

Data la presenza di due tipi di decisori, cioè gli utenti e l'autorità, la definizione di obiettivi coerenti, e non invece conflittuali, per un problema localizzativo può essere assai complessa.

Nei modelli sviluppati nell'ambito della Ricerca Operativa, in genere, tale complessità è ignorata od eliminata, mediante la sua riduzione all'unico obiettivo di minimizzazione dei costi totali (costi di installazione e gestione più costi di trasporto).

Avendo qui abbandonato le ipotesi semplificative assunte nell'ambito della Ricerca Operativa, tale riduzione non è più giustificabile. Sorgono dunque, essenzialmente, due problemi, rilevanti ai fini della definizione degli obiettivi e dovuti alla presenza di due tipi diversi di de-

cisori. Essi sono:

- a. il problema del compromesso tra equità spaziale ed efficienza;
- b. il problema della coerenza tra allocazione e localizzazione.

Il conflitto tra equità spaziale ed efficienza è intrinseco a tutti i problemi di localizzazione di servizi; in particolare, di servizi pubblici. L'equità della distribuzione spaziale degli impianti del servizio e, in qualche misura anche la massimizzazione dell'accessibilità per gli utenti, in genere, spingono verso l'installazione di molti impianti, piccoli e dispersi. D'altra parte, l'efficienza, in genere, è misurata in termini di costi da sostenere per l'installazione e la gestione degli impianti; poiché, in genere, tali costi sono sensibili ad economie di scala, la massimizzazione dell'efficienza, in genere, spinge verso la concentrazione del servizio in pochi impianti, grandi e concentrati. Per trovare un compromesso tra queste due tendenze opposte, sono stati proposti tre diversi approcci, i quali danno origine a tre diverse famiglie di modelli. Es-



se sono:

- a. la famiglia di modelli in cui una qualche funzione di beneficio totale per gli utenti viene massimizzata, subordinatamente ad un vincolo di budget sul costo totale di installazione e gestione degli impianti. Questa è considerata, in genere, la formulazione più adatta per un problema di localizzazione di servizi pubblici, se è lecito assumere che un'autorità pubblica non agisca a scopo di profitto. Questa definizione del problema di localizzazione di servizi pubblici è proposta in ReVelle, Marks, Liebman (1970), Swain (1974) e Hansen, Kaufman (1976);
- b. la famiglia di modelli in cui una qualche misura di efficienza viene massimizzata, subordinatamente a vincoli sui requisiti minimi di beneficio per gli utenti. Tipici esempi sono i così detti problemi di "set covering", largamente usati per localizzare alcuni servizi pubblici; in particolare, di emergenza. Nella sua forma più semplice, un problema di localizzazione di questo tipo minimizza il numero di impianti da installare (l'obiettivo di efficienza), subordinatamente al

vincolo che ogni punto di domanda abbia almeno un impianto all'interno di un suo raggio massimo ammissibile di viaggio (generalmente, misurato in tempo) (il vincolo di equità). Questa definizione del problema di localizzazione di servizi (più spesso, di emergenza) è proposta in Toregas ed altri (1971);

c. la famiglia di modelli in cui la funzione obiettivo è la differenza tra una qualche misura di beneficio totale per gli utenti ed i costi totali di installazione e gestione degli impianti, senza alcun vincolo. Poiché i due termini, in genere, sono misurati in unità diverse, almeno uno di essi, in genere il termine dei costi, deve essere pesato con un fattore numerico che riflette il giudizio dell'autorità sulla sua importanza relativa. Per quanto questa formulazione sia considerata più adatta per i problemi di localizzazione del settore privato, essa è stata usata anche per analizzare il trade-off tra benefici e costi nei problemi di localizzazione dei servizi pubblici. Questa definizione del problema di localizzazione di servizi è proposta in Erlenkotter (1977) ed in Bigman, ReVelle



(1979).

Si fa notare che, nonostante la sostanziale diversità tra le tre famiglie di modelli sopra descritte, dal punto di vista algoritmico la differenza è più apparente che reale, in quanto con semplici accorgimenti tecnici esse possono essere ricondotte ad una unica formulazione standard, risolvibile con lo stesso tipo di algoritmi. Se, ad esempio, viene introdotto un rilassamento lagrangiano per i vincoli dei primi due tipi di modelli, ambedue assumono una forma del terzo tipo, con il moltiplicatore di Lagrange che agisce come fattore ponderante.

Per quanto concerne il problema della coerenza tra la fase di allocazione e quella di localizzazione, si possono considerare tre assunzioni alternative, le quali generano altrettante famiglie di modelli. Le assunzioni alternative sono le seguenti:

- a. sia l'allocazione sia la localizzazione sono decise direttamente dall'autorità. Questo è il caso tipico dei modelli sviluppati nell'ambito della Ricerca Operativa. In questo caso, non esiste alcun comportamento degli utenti del tipo descritto, per esempio, da un

modello di interazione spaziale, ma esiste solo un comportamento imposto dall'autorità;

- b. l'allocazione è il risultato del comportamento non imposto degli utenti e quindi, per esempio, descritto da un modello di interazione spaziale. In tal caso, si assume che l'autorità conosca il modello di comportamento degli utenti e ne tenga conto nel decidere la localizzazione e la dimensione degli impianti. Tuttavia, in tal caso non si assume che la valutazione dei benefici per gli utenti, fatta dall'autorità, sia necessariamente coincidente con un beneficio collettivo percepito dagli utenti, né si assume che tale beneficio collettivo sia definibile. E', questo, il caso in cui possono sorgere conflitti sia tra gli utenti, sia tra gli utenti, nel loro complesso, e l'autorità. Forse, non è inutile far osservare che questa è una famiglia di modelli che emerge da una costruzione sistematica, quale qui si è tentata, ma è una famiglia di modelli della quale, in letteratura, si conoscono solo esempi scolastici;

- c. come nel precedente caso sub b., l'allocazione è il



risultato del comportamento non imposto degli utenti, ma in questo caso si assume, anche, che sia definibile una misura di beneficio collettivo per gli utenti. Con ciò si intende che il comportamento degli utenti osservato a livello aggregato, così come è descritto da un modello di interazione spaziale, è derivabile come soluzione di un problema di massimizzazione di una funzione. Poiché gli utenti, nell'aggregato, si comportano come se effettivamente massimizzassero tale funzione, è naturale adottare tale funzione come misura del beneficio collettivo. Come si è detto in precedenza, le recenti interpretazioni teoriche dei modelli di interazione spaziale forniscono proprio tale funzione. In particolare, nell'approccio della massimizzazione dell'entropia è dimostrato come il modello di interazione spaziale sia ottenibile, proprio, massimizzando l'entropia. I modelli di localizzazione dei servizi, aventi una funzione di beneficio collettivo per gli utenti di tipo entropico, costituiscono un esempio tipico della famiglia di modelli qui introdotta; in realtà, l'esempio più importante (al punto che

la trattazione, da qui in poi, farà esclusivo riferimento ad essi).

##### 5. I MODELLI DI LOCALIZZAZIONE DI SERVIZI CON FUNZIONE O BIETTIVO DI TIPO ENTROPICO

Come è stato mostrato in 4., l'uso di funzioni di tipo entropico, come misura di beneficio per gli utenti, genera una famiglia di modelli localizzativi particolarmente importante per le proprietà di cui gode.

Come si è detto in 4., la proprietà più importante è che detti modelli implicano come soluzione, per la fase di allocazione, i modelli di interazione spaziale. Tale proprietà prende il nome di incapsulamento del comportamento della domanda.

L'uso di funzioni di tipo entropico, per valutare benefici collettivi e decisioni localizzative, trae origine da Neuburger (1971), Coelho, Wilson (1976) e Williams (1977).

La forma generale di tali modelli è discussa in Leonard (1981b) ed è la seguente:



$$\max_T - \sum_{ij} T_{ij} (c_{ij} + \frac{1}{\beta} \ln T_{ij}) \quad (2)$$

soggetto a

$$\sum_j T_{ij} = P_i \quad (3)$$

$$\sum_j h_j (\sum_i T_{ij}) \leq B, \quad (4)$$

ove:

$i$  e  $j$  indicano, rispettivamente, la zona di origine della domanda e la zona di destinazione dell'impianto del servizio;

$T_{ij}$  è il numero di utenti residenti in  $i$  che usano l'impianto in  $j$ ;

$P_i$  è la domanda totale in  $i$ ;

$c_{ij}$  è il costo di spostamento tra  $i$  e  $j$ ;

$h_j (\sum_i T_{ij})$  è una funzione monotona crescente non negativa, che

specifica il costo totale di installazione e gestione

di un impianto ubicato in  $j$  ed avente dimensione

pari all'utenza totale attratta in  $j$  ( $\sum_i T_{ij}$ );

B // è il budget totale di cui l'autorità dispone per l'installazione e gestione del complesso degli impianti;

$\beta$  // è un parametro non negativo.

(2) La funzione obiettivo (2) è, a parte il termine logaritmico, nient'altro che il costo totale associato agli spostamenti degli utenti cambiato di segno. Essa, pertanto, include, come caso particolare, la funzione obiettivo standard usata nei modelli di localizzazione sviluppati nell'ambito della Ricerca Operativa. La presenza del termine logaritmico, cioè l'aggiunta di un termine entropico, è quindi il principale elemento di differenziazione rispetto ai modelli sviluppati nell'ambito della Ricerca Operativa.

Il vincolo (3) è un semplice vincolo di coerenza, che assicura che gli utenti totali uscenti da ciascuna zona siano uguali alla domanda totale di quella zona.

Il vincolo (4) è un vincolo di budget, che assicura che il costo totale associato all'installazione e gestione del complesso degli impianti non superi le risorse disponibili.

Un caso particolare, frequentemente ricorrente nelle



sperimentazioni, si ha quando le funzioni di costo  $h_j$  sono composte da un costo fisso, indipendente dalla dimensione dell'impianto ed esclusivamente associato all'investimento iniziale per l'installazione, più un costo lineare, proporzionale alla dimensione del servizio e, quindi, alla domanda totale attratta (fig. 2).

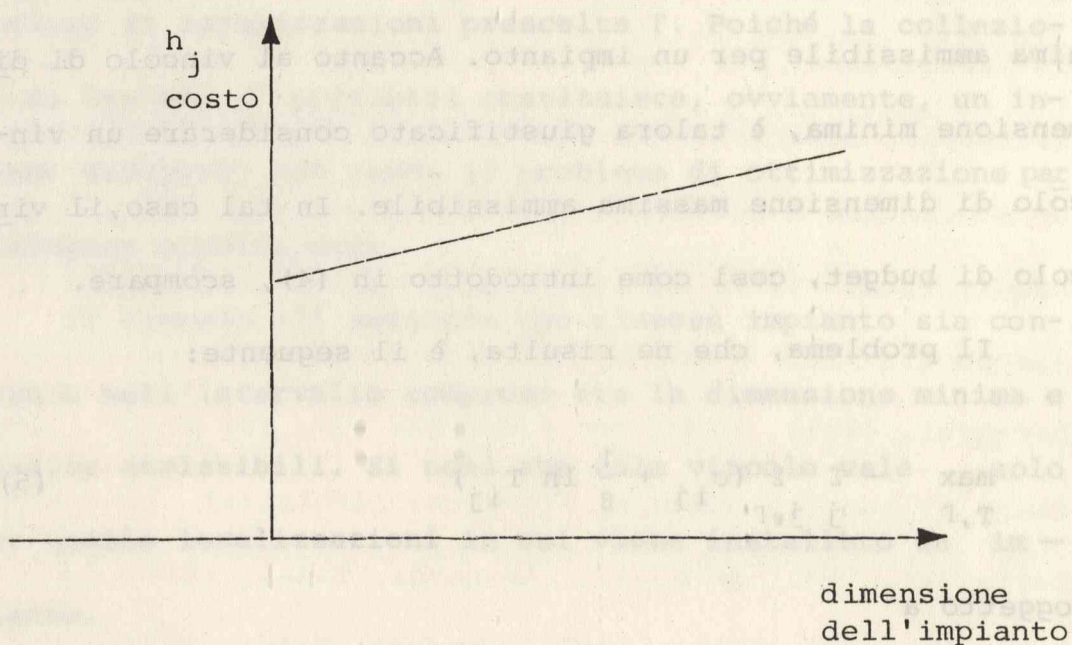


Figura 2 Andamento tipico di una funzione di costo, composta da un costo iniziale fisso più un costo lineare

$$\max_{T, \Gamma} - \sum_i \sum_{j \in \Gamma} T_{ij} (c_{ij} + \frac{1}{\beta} \ln T_{ij}) \quad (5)$$

Una funzione del tipo mostrato in fig. 2 riflette bene il fenomeno delle economie di scala tramite il costo fisso iniziale.

Tuttavia, spesso, non è possibile specificare esattamente una funzione di costo o, comunque, avere dati sufficienti o attendibili sui costi. In tal caso, si può ricorrere alla formulazione alternativa, che introduce gli effetti di scala tramite vincoli imposti alla dimensione minima ammissibile per un impianto. Accanto al vincolo di dimensione minima, è talora giustificato considerare un vincolo di dimensione massima ammissibile. In tal caso, il vincolo di budget, così come introdotto in (4), scompare.

Il problema, che ne risulta, è il seguente:

$$\max_{T, \Gamma} - \sum_j \sum_{j \in \Gamma} (c_{ij} + \frac{1}{\beta} \ln T_{ij}) \quad (5)$$

soggetto a

$$\sum_{j \in \Gamma} T_{ij} = P_i \quad (6)$$

$$S_{\min} \leq \sum_i T_{ij} \leq S_{\max} \text{ per ogni } j \in \Gamma, \quad (7)$$

ove:



$\Gamma$  è l'insieme delle localizzazioni prescelte per l'installazione degli impianti;

$S_{\min}$  e  $S_{\max}$  sono, rispettivamente, la dimensione minima e massima ammissibili per un impianto.

Benché la funzione obiettivo (5) sia pressoché identica alla funzione obiettivo (2), è importante notare che è stata introdotta una nuova variabile di controllo, cioè l'insieme di localizzazioni prescelte  $\Gamma$ . Poiché la collezione di insiemi  $\Gamma$  possibili costituisce, ovviamente, un insieme discreto, ciò rende il problema di ottimizzazione parzialmente combinatorio.

Il vincolo (7) assicura che ciascun impianto sia contenuto nell'intervallo compreso tra la dimensione minima e massima ammissibili. Si noti che tale vincolo vale solo per quelle localizzazioni in cui viene installato un impianto.

Il modello (2), (3) e (4) ed il modello (5), (6) e (7) costituiscono i capostipiti più semplici di una vasta famiglia di modelli, ottenibili introducendo, da un lato, generalizzazioni e, dall'altro, condizioni specifiche. Ad esempio, una generalizzazione è costituita dall'introduzione

ne della domanda elastica, ottenibile con una lieve modificazione nella funzione obiettivo entropica. Ad esempio, una condizione specifica è costituita dall'introduzione di un vincolo aggiuntivo sulla dimensione totale dell'intervento, vincolo giustificato nel caso in cui la domanda sia elastica.

Le tecniche di soluzione sono, comunque, simili per le diverse versioni di ciascuno dei due modelli introdotti. In particolare, per i modelli (2), (3) e (4) sono stati sviluppati algoritmi risolutivi basati sulla programmazione stocastica e sul metodo del sub-gradiente (Ermoliev, Leonardi, Vira, 1981), sull'uso delle funzioni sub-modulari (Leonardi, 1983) e sul metodo branch and bound (Erlenkotter, Leonardi, 1985). Anche per i modelli (5), (6) e (7) sono stati sviluppati adeguati algoritmi risolutivi (Leonardi, Bertuglia, 1981; Bertuglia, Leonardi, Tadei, 1981; Bertuglia, Leonardi, Tadei, 1983; Leonardi, Tadei, 1984).

Prima di concludere questo punto 5., si ritiene opportuno notare che, indipendentemente dalle diversità nella struttura dei vincoli, per ambedue i tipi di problemi la soluzione esplicita relativa alle variabili  $T_{ij}$ , cioè il



modello di comportamento della domanda, ha la seguente forma;

$$T_{ij} = P_i \frac{w_j e^{-\beta c_{ij}}}{\sum_j w_j e^{-\beta c_{ij}}}, \quad (8)$$

in cui i fattori  $w_j$  dipendono dai moltiplicatori di Lagrange associati ai vari vincoli.

La (8) costituisce un modello di interazione spaziale con funzione di impedenza esponenziale, e ciò permette di dare una interpretazione empirica al parametro  $\beta$ , che è determinabile a partire dai flussi osservati.

## 6. QUADRO RIASSUNTIVO DEI MODELLI DI LOCALIZZAZIONE DEI SERVIZI

Un quadro riassuntivo dei legami tra le assunzioni e, quindi, tra i modelli che ne conseguono è introdotto in fig. 3.

Nella trattazione precedente, si è fatto riferimento,

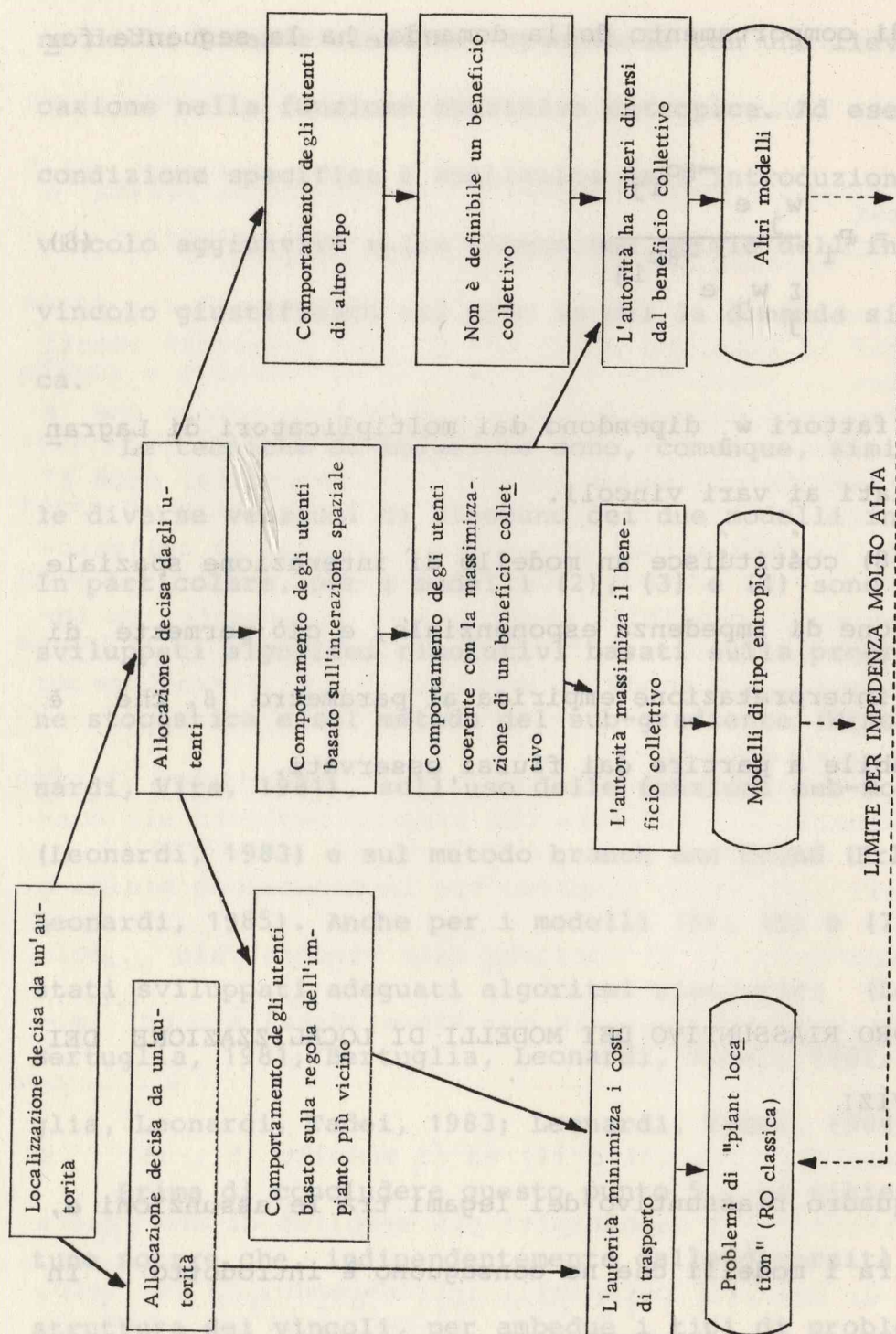


Figura 3 Quadro riassuntivo dei modelli di localizzazione dei servizi



essenzialmente, a tre grandi classi di modelli:

- a. i modelli classici di localizzazione della Ricerca Operativa ("plant location" e simili);
- b. i modelli di tipo entropico;
- c. altri modelli.

Alla base di queste tre grandi classi di modelli può essere individuata una gerarchia di assunzioni: quelle indicate nei rettangoli della fig. 3.

Ciascun cammino (seguendo le frecce) nella gerarchia conduce ad una, e ad una sola, classe di modelli.

Nella fig. 3, procedendo dall'alto verso il basso, possono essere individuati i seguenti livelli di assunzioni:

- a. un'assunzione su chi decide la localizzazione e la dimensione degli impianti. Il decisore è, in ogni caso, l'autorità;
- b. un'assunzione su chi decide l'allocazione della domanda;
- c. un'assunzione sul comportamento degli utenti nella scelta degli impianti a cui recarsi;

- d. un'assunzione sull'esistenza o meno di una funzione di beneficio collettivo;
- e. un'assunzione sulla coerenza o meno tra obiettivi dell'autorità ed obiettivi degli utenti.

Varie combinazioni di tali assunzioni conducono a modelli diversi, come mostrato nei rettangoli con due lati arrotondati della fig. 3.

Un'altra proprietà unificante è rivelata dalla linea tratteggiata al fondo della fig. 3. Essa evidenzia che tutti i modelli esistenti includono il problema classico di "plant location" come caso limite, e ciò quando l'impedenza della distanza è molto alta. Questa proprietà è, in particolare, vera per i modelli basati sull'interazione spaziale, come mostrato in Leonardi (1980), utilizzando un precedente risultato di Evans (1973).



## 7. LE SPERIMENTAZIONI ITALIANE

### 7.1 Introduzione

Nei capitoli precedenti, si è trattato delle teorie e modelli per la localizzazione di servizi e, nel capitolo 6, si è pervenuto ad un quadro unificante di tali modelli di localizzazione.

In questo capitolo 7, si procederà ad una rassegna delle sperimentazioni condotte su casi di studio, prevalentemente, italiani e/o per iniziativa di studiosi, sopra tutto, italiani.

Il capitolo considererà sperimentazioni in campo sia scolastico sia sanitario e partirà dal necessario riferimento ai caposaldi teorici cui le stesse sperimentazioni si ispirano.

### 7.2 Caposaldi teorici

Nello sviluppo teorico dei modelli di localizzazione di servizi, si riconoscono due fasi fondamentali:

- a. quella concernente i modelli di localizzazione di di-

versi impianti di un unico tipo di servizio (per esempio: gli impianti della scuola media superiore);

- b. quella concernente i modelli di localizzazione di diversi impianti di più tipi di servizi interagenti, in genere articolati in una struttura a più livelli (per esempio: il complesso costituito dalla scuola media superiore, dalle biblioteche e dalle attrezzature sportive).

Per quel che concerne la prima fase, e con particolare riferimento ai modelli con funzione obiettivo di tipo entropico, un contributo teorico pionieristico è costituito da Leonardi (1973), il quale conteneva anche una sperimentazione sulle scuole medie superiori della città di Milano. Sempre con riferimento alla prima fase, i successivi sviluppi teorici sono costituiti da Leonardi (1978) e da Bertuglia e Leonardi (1982). Parallelamente a questi contributi teorici di studiosi italiani, occorre citare il contributo di Mayhew (1980), che, benché di portata teorica generale, ispira, essenzialmente, sperimentazioni in campo sanitario.

Per quel che concerne la seconda fase, e sempre con



particolare riferimento ai modelli con funzione obiettivo di tipo entropico, una prima generalizzazione a più livelli, del modello di localizzazione ad un solo livello, è contenuta in Bertuglia e Leonardi (1980). Un successivo approfondimento teorico della stessa struttura di modello appare in Leonardi (1982). Infine, una versione operativa ed algebricamente dettagliata è presentata in Leonardi e Tadei (1984). Parallelamente a questi contributi teorici di studiosi italiani, occorre citare il contributo di Wilson e Clarke (1982), anche se in esso sono proposti più approcci (come, per esempio, quello della microsimulazione), che rendono tale contributo non perfettamente omogeneo a quello dell'approccio della famiglia di modelli localizzativi basati, in senso stretto, sulla massimizzazione dell'entropia. Anche il citato contributo di Wilson e Clarke è orientato, essenzialmente, alla sperimentazione in campo sanitario.

### 7.3 Sperimentazioni in campo scolastico

La prima sperimentazione di rilievo è contenuta in

Leonardi e Bertuglia (1981). Essa consiste nell'applicazione di un modello di localizzazione di diversi impianti di un unico tipo di servizio, del tipo (5), (6) e (7), al caso delle scuole medie supericri dell'area torinese. Tale sperimentazione contiene una analisi di sensitività dettagliata sull'influenza del vincolo di soglia minima sulla distribuzione spaziale degli impianti scolastici. Ciò permette di studiare l'effetto delle economie di scala sulla tendenza alla dispersione più che alla concentrazione di tale servizio. Il lavoro contiene anche, in nuce, alcune generalizzazioni, che diventeranno importanti in lavori successivi, quali:

- a. l'introduzione di una domanda elastica, che in questo caso significa un tasso di scolarizzazione variabile in funzione dell'accessibilità al servizio;
- b. l'introduzione di una prima formulazione di un modello di ottimizzazione dinamica, che permette di prevedere non solo la localizzazione e la dimensione, ma anche l'articolazione nel tempo degli interventi.

La sperimentazione più completa è contenuta in Bertu-



glia, Leonardi e Tadei (1981). Essa consiste nell'applicazione di un modello di localizzazione di diversi impianti di più tipi di servizi interagenti, articolati in una struttura a più livelli, del tipo descritto in Leonardi e Tadei (1984), sempre al caso delle scuole medie superiori dell'area torinese. In questa sperimentazione viene assunto che il servizio complessivo si articola in due livelli e tre tipi di servizi. Il primo livello è costituito dalle sedi scolastiche vere e proprie (complessi di aule); il secondo livello è costituito dalle attrezzature collaterali all'attività didattica, non necessariamente ubicate negli stessi luoghi dei complessi di aule. Le attrezzature collaterali all'attività didattica sono distinte in: attrezzature per le attività sportive (esemplificate, convenzionalmente, con le piscine); attrezzature per la documentazione e diffusione dell'informazione (esemplificate, convenzionalmente, nelle biblioteche). Il metodo di soluzione di tale tipo di problema è basato su un particolare accorgimento, che permette di scindere il problema a più livelli ed a più servizi in una successione di problemi più semplici, ad un unico livello e ad un unico servizio, che è del tipo (5), (6)

e (7). Anche in questo caso, è stata condotta una analisi di sensitività dettagliata sull'influenza del vincolo di soglia minima sulla distribuzione spaziale sia degli impianti scolastici veri e propri sia degli impianti collaterali. Inoltre, si è analizzato anche l'effetto di variazioni della soglia minima su cinque principali indicatori aggregati delle caratteristiche del servizio complessivo:

- a. l'utilità complessiva degli utenti;
- b. il tempo medio del viaggio casa-scuola;
- c. l'accessibilità;
- d. la popolazione scolarizzata;
- e. il numero di zone dotate di impianto.

Per quanto concerne il primo livello (complessi di aule) è risultato, come per altro è intuitivo, che tutti gli indicatori decrescono al crescere della soglia minima. La stessa tendenza si riconosce per quanto concerne il secondo livello; in modo più marcato per le biblioteche e meno marcato per le piscine. Inoltre, il lavoro contiene una analisi dettagliata della distribuzione spaziale di vari indicatori delle prestazioni del servizio complessivo (l'accessibilità, la domanda potenziale insoddisfatta, il tempo medio



di viaggio). Il lavoro contiene, infine, il confronto tra la situazione attuale e la situazione prevista dalla soluzione del modello.

Parallelamente alle due sopra descritte sperimentazioni, le quali sono basate sul modello (5), (6) e (7) e sulla sua generalizzazione a più livelli, sono state condotte anche sperimentazioni basate sul modello (2), (3) e (4). Tali sperimentazioni concernono la localizzazione di diversi impianti di un unico tipo di servizio. Se ne citano, in particolare, due, riferite sempre alle scuole medie superiori dell'area torinese. La prima (Leonardi, 1983) sfrutta un metodo di soluzione euristico basato sulla proprietà di sub-modularità della funzione obiettivo e conduce una analisi di sensitività sull'influenza del costo fisso di apertura degli impianti scolastici sulla distribuzione spaziale degli impianti stessi. La seconda sperimentazione (Erlenkotter, Leonardi, 1985) sfrutta il metodo branch and bound e conduce una analisi di sensitività del tipo già indicato per la prima sperimentazione.

#### 7.4 Sperimentazioni in campo sanitario

Le sperimentazioni in campo sanitario si ispirano al lavoro di Mayhew (1980), il quale ha introdotto la dimensione spaziale nell'inquadramento generale del problema sanitario formulato da Gibbs (1978).

I modelli derivati da questo approccio, benché lievemente diversi da quelli usati nelle sperimentazioni trattate in 7.3, ne condividono, tuttavia, alcune caratteristiche fondamentali; in particolare, anche in essi, il comportamento della domanda è descritto da un modello di interazione spaziale, derivabile dal principio della massimizzazione dell'entropia. La differenza più saliente consiste nella maggiore enfasi data, in essi, al lato dell'offerta. L'assunzione fondamentale, introdotta da Gibbs (1978) e fatta propria da Mayhew (1980), è che la domanda di servizi sanitari sia insaziabile, cioè infinitamente elastica ed in grado di assorbire qualunque livello di servizio venga offerto. Con tale assunzione, diventa necessario introdurre vincoli alla disponibilità di risorse da allocare e considerare non solo obiettivi di soddisfacimento della domanda, ma anche obiettivi di efficienza nella fornitura del



servizio.

La prima sperimentazione, nella quale si conduce una analisi comparata dell'effetto combinato di obiettivi di equità spaziale, efficienza ed accessibilità al servizio, è sviluppata da Mayhew e Leonardi (1981) ed è condotta sugli ospedali dell'area di Londra. Il metodo di soluzione, usato in questo lavoro, è di struttura analoga a quella del metodo usato per la soluzione di problemi del tipo (5), (6) e (7). Tuttavia, la funzione obiettivo, assunta qui, è diversa, essendo la combinazione lineare di una componente entropica associata al comportamento della domanda, e quindi di principale responsabile dello schema di spostamenti e dei costi di trasporto, e di una componente di equità spaziale, che introduce una tendenza alla equidistribuzione del servizio fra tutte le zone d'origine degli utenti. E' stata condotta una analisi di sensitività sul diverso peso relativo di queste due componenti, la quale ha mostrato come esse siano in conflitto, cioè come, in generale, soluzioni più eque siano meno convenienti dal punto di vista dei costi di trasporto e viceversa. E' stata condotta, anche, una analisi di sensitività relativamente al numero di

zone dotate di ospedale in funzione del parametro di impedenza della distanza, cioè della maggiore o minore dispersione degli spostamenti degli utenti attorno all'ospedale più vicino, la quale ha mostrato che le due componenti della funzione obiettivo hanno tendenze diametralmente opposte: nel caso in cui prevalga l'obiettivo di equità spaziale, al decrescere della dispersione negli spostamenti degli utenti cresce il numero di zone dotate di ospedale; nel caso in cui prevalga l'obiettivo di efficienza, al decrescere della dispersione negli spostamenti degli utenti decresce il numero di zone dotate di ospedale.

La seconda sperimentazione, dovuta a Mayhew e Leonardi (1982), introduce la struttura a più tipi di servizi; più precisamente, il servizio ospedaliero viene considerato non più aggregato, ma disaggregato secondo reparti (ciascuno dei quali corrisponde ad una specialità). La sperimentazione è condotta sull'area dello stato del Massachusetts. La funzione obiettivo, assunta nel modello di ottimizzazione, ha una struttura del tipo proposto in Gibbs (1978) per il caso spaziale, che qui viene estesa al caso spaziale. I vincoli considerati sono analoghi a quelli assunti nei modelli, ma anche obiettivi di efficienza nella fornitura del



delli trattati in 7.3. Ancora una volta, è stata condotta una analisi di sensitività sull'influenza del vincolo di soglia minima sulla distribuzione spaziale dei reparti.

Le sperimentazioni fin qui trattate, pur coinvolgendo anche studiosi italiani, sono state condotte su casi di studio non italiani. Le prime due sperimentazioni su un caso di studio italiano sono contenute in Tadei, Gallino, Salomone (1983, 1984) e concernono gli ospedali del Piemonte. La prima consiste nell'analisi del comportamento della domanda di servizi sanitari, che viene descritto con un modello di interazione spaziale, e nella relativa stima empirica dei parametri, in particolare del parametro di impedenza della distanza. La seconda sperimentazione consiste nell'applicazione del modello di localizzazione ottimale basato sull'obiettivo di equità spaziale e soggetto ai vincoli di soglia minima e massima, nonché al vincolo di dimensione totale del servizio. La sperimentazione è stata condotta su diverse assunzioni alternative per i vincoli di soglia e di dimensione totale. Quanto ai risultati ottenuti, in tutti i casi si riscontra la tendenza fondamentale alla riduzione della dimensione ed all'aumento della di-

spersione degli ospedali nella città di Torino e la tendenza diametralmente opposta nel resto della regione.

### 7.5 Conclusione

L'esperienza italiana, in quanto corrispondente agli sviluppi teorici e modellistici delineati in questo saggio e per come descritta in questo capitolo 7., fa riconoscere i seguenti connotati:

- a. ha preso avvio una diecina di anni fa;
- b. non è una collezione di sperimentazioni eclettiche, ma si presenta come fortemente cumulativa, e questo nella prospettiva della costruzione di una linea teorica unificante;
- c. fa riconoscere, come caposaldi della linea teorica unificante, i seguenti:
  - c.a l'introduzione, all'interno della struttura dei modelli di localizzazione sviluppati nell'ambito della Ricerca Operativa, di un nuovo modo di descrivere il comportamento della domanda, fondato sulla teoria dell'interazione spaziale;



c.b l'uso delle funzioni di tipo entropico sia come meccanismo che genera il comportamento della domanda, sia come indicatore dei benefici per gli utenti;

c.c la generalizzazione, degli iniziali modelli di localizzazione, a più livelli della stessa attività, nonché a più attività interagenti.

## 8. CONCLUSIONE GENERALE E LINEE DI SVILUPPO FUTURO

Il filone teorico, al centro di questo saggio, prende le mosse, negli anni sessanta, dalla confluenza di due aree di studio indipendenti: la Ricerca Operativa e la Scienza Regionale. Più precisamente, i caposaldi di riferimenti sono:

- a. il contributo pionieristico di Lakshmanan e Hansen (1965), che, per primo, ha dato una svolta operativa all'analisi congiunta della localizzazione delle attività e del comportamento della domanda. Tale contributo, sempre per primo, ha introdotto l'uso dei modelli di interazione spaziale nell'analisi localizzativa;

b. il contributo fondamentale della Scuola di Leeds; in particolare, il lavoro di Coelho e Wilson (1976), che, per primo, ha combinato il principio della massimizzazione dell'entropia, i modelli di interazione spaziale ed i modelli di localizzazione-allocazione della Ricerca Operativa.

La fusione dei contributi delle due considerate aree di studio (Ricerca Operativa e Scienza Regionale) ha permesso lo sviluppo di modelli, che, da una parte, presentano le caratteristiche di rigore e di efficienza algoritmica dovuti alla formulazione in termini di programmazione matematica e, da un'altra parte, presentano le caratteristiche di fondatezza teorica e di realismo dovuti all'uso di modelli di comportamento fondati sulla teoria dell'interazione spaziale.

Il contributo, dato dagli studiosi italiani, a questo nuovo sviluppo di modelli localizzativi non è stato del tutto marginale. Esso non si è limitato ad importare ed applicare metodi e tecniche predisposti altrove, ma piuttosto ha recato contributi originali ed innovativi. In particolare, sul piano teorico è stato recato un contributo significati



vo all'affinamento delle tecniche di programmazione matematica utilizzabili per la soluzione di problemi localizzati. Inoltre, è stato esteso e generalizzato l'uso delle funzioni di tipo entropico, le quali sono state fornite anche di nuove giustificazioni economiche. Infine, sul piano sperimentale, va notato che la sperimentazione italiana è stata ampia e fortemente cumulativa.

Quanto sopra richiamato ha generato, come si è visto in questo saggio, sviluppi ampi e risultati importanti.

Il primo risultato è il riconoscimento dell'importanza dei diversi livelli di coerenza tra la funzione obiettivo ed il comportamento degli utenti. Infatti, nel capitolo 4., si è visto come diverse ipotesi su tale punto conducano a famiglie di modelli radicalmente diverse e si è focalizzata l'attenzione su una famiglia di modelli particolarmente importante nella teoria e nella sperimentazione, quella in cui è possibile definire una misura di beneficio collettivo che sia coerente con il comportamento degli utenti e possa essere usata come funzione obiettivo.

Il secondo risultato, evidenziato nel capitolo 5., consiste nell'individuazione, all'interno della sopra detta

famiglia di modelli, di una classe di modelli che gode di particolari vantaggi sia teorici sia operativi. Si tratta dei modelli con funzione obiettivo di tipo entropico.

Il terzo risultato consiste nell'unificazione delle assunzioni e dei modelli considerati in una vera e propria teoria di classificazione, brevemente rappresentata nel quadro riassuntivo del capitolo 6..

Dato lo stato dell'arte come tratteggiato in questo saggio ed ora brevemente riassunto, le principali linee di sviluppo futuro appaiono essere:

- a. l'avanzamento dello studio lungo la linea di generalizzazione in più livelli ed in più tipi di servizi, che superi l'attuale limitatezza al settore dei servizi, e preveda la costruzione di modelli integrati di localizzazione simultanea di servizi e di altre attività, che compongono il sistema urbano e che interagiscono con i servizi stessi. Tale linea porta, come sviluppo naturale, dai modelli di localizzazione dei servizi ai modelli di ottimizzazione del sistema urbano complessivo, includendo tra i sottosistemi dello stesso anche quello dei trasporti;



b. l'introduzione degli aspetti dinamici nei modelli di localizzazione. Si fa presente che gli aspetti dinamici sono importanti da due punti di vista: uno che potremmo definire descrittivo ed uno che potremmo definire normativo. Con dinamica descrittiva si intende il complesso dei fenomeni di mutamento nel tempo dei vari comportamenti non soggetti a controllo diretto da parte di una qualche autorità: tale è, ad esempio, il mutamento, nel tempo, della domanda e del suo comportamento di scelta. Con dinamica normativa si intende il problema dell'articolazione, nel tempo, dei tempi, delle dimensioni e delle localizzazioni delle attività, in modo da rispettare criteri di ottimalità a lungo termine. Questo tipo di sviluppo futuro porta, necessariamente, a considerare l'uso di tecniche matematiche attualmente poco adoperate in campo urbano e regionale, quali la programmazione dinamica ed il controllo ottimale ed adattivo.

Per quanto ci riguarda, a questi sviluppi futuri stiamo cercando di dare un contributo con uno studio pluriennale condotto dall'IRES per il Progetto Finalizzato Trasporti del C.N.R..

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Balinski M.L. (1961) Fixed cost transportation problems, Naval Research Logistics Quarterly, 8, 41-54.

Bertuglia C.S., Leonardi G. (1980) A model for the optimal location of multi-level services, Sistemi Urbani, 2, 283-297.

Bertuglia C.S., Leonardi G. (1982) Localizzazione ottimale dei servizi pubblici, in Bielli M., La Bella A. (eds.) Problematiche dei livelli sub-regionali di programmazione, Angeli, Milano, 286-313.

Bertuglia C.S., Leonardi G., Occelli S., Rabino G.A., Tadei R. (1984a), Fondamenti per un approccio unificante all'analisi del comportamento della domanda in un sistema localizzazioni-trasporti, Working Paper 31, IRES, Torino.

Bertuglia C.S., Leonardi G., Occelli S., Rabino G.A., Tadei R. (1984b) Location-transport relationship: state-of-the-art, unifying efforts and future development, Working Paper 32, IRES, Torino.

Bertuglia C.S., Leonardi G., Occelli S., Rabino G.A., Tadei R., Wilson A.G. (eds.) (1985) Urban and regional systems: contemporary approaches to modelling, Pion, London (in corso di stampa).

Bertuglia C.S., Leonardi G., Tadei R. (1981) Localizzazione ottimale dei servizi pubblici con esperimenti sulle scuole dell'area torinese, Atti delle Giornate di Lavoro AIRO 1981, Torino, 67-250.

Bertuglia C.S., Leonardi G., Tadei R. (1983) A nested random utility model for multi-service systems: an application to the high school system in Turin, Sistemi Urbani, 5, 55-105.



- Bigman D., ReVelle C. (1979) An operational approach to welfare considerations in applied public facility location models, Environment and Planning A, 11, 83-95.
- Coelho J.D., Wilson A.G. (1976) The optimum location and size of shopping centers, Regional Studies, 10, 413-421.
- Efroymsen M.A., Ray T.L. (1966) A branch-bound algorithm for plant location, Operations Research, 14, 361-368.
- Erlenkotter D. (1977) Facility location with price-sensitive demands: private, public, and quasi-public, Management Science, 24, 378-386.
- Erlenkotter D. (1978) A dual-based procedure for uncapped facility location, Operations Research, 26, 992-1009.
- Erlenkotter D. (1979) A comparative study of approaches to dynamic location problems, WP 292, Western Management Science Institute, University of California, Los Angeles, Calif..
- Erlenkotter D., Leonardi G. (1985) Facility location with spatially interactive travel behavior, Sistemi Urbani, 7 (in corso di stampa).
- Ermoliev Y., Leonardi G., Vira J. (1981) The stochastic quasi-gradient method applied to a facility location problem, Working Paper 81-14, IIASA, Laxenburg, Austria.
- Evans S.P. (1973) A relationship between the gravity model for trip distribution and transportation problems in linear programming, Transportation Research, 7, 39-61.
- Gibbs R. (1978) The IIASA health care resources allocation sub-model: Mark 1, Research Report 78-8, IIASA, Laxenburg, Austria.

- Hansen P., Kaufman L. (1976) Public facilities location under an investment constraint, in Haley K.B. (ed.) Operational Research 1975, North-Holland, Amsterdam, 201-209.
- Hansen P., Thisse J.F. (1977) Multiplant location for profit maximisation, Environment and Planning A, 9, 63-73.
- Harris B. (1964) A model of locational equilibrium for retail trade, mimeograph, Penn-Jersey Transportation Study, Philadelphia, Pa.
- Hodgson M.J. (1978) Towards more realistic allocation in location-allocation models: an interaction approach, Environment and Planning A, 10, 1273-1285.
- Huff D.L. (1966) A programmed solution for approximating an optimum retail location, Land Economics, 42, 293-303.
- Lakshmanan T.R., Hansen W.G. (1965) A retail market potential model, Journal of the American Institute of Planners, 31, 134-143.
- Leonardi G. (1973) Localizzazione ottimale dei servizi urbani, Ricerca Operativa, 12, 15-43.
- Leonardi G. (1978) Optimum facility location by accessibility maximizing, Environment and Planning A, 10, 1287-1305.
- Leonardi G. (1980) On the formal equivalence of some simple facility location models, Working Paper 80-21, IIASA, Laxenburg, Austria.
- Leonardi G. (1981a) A unifying framework for public facility location problems - part 1: A critical overview and some unsolved problems, Environment and Planning A, 13, 1001-1028.



- Leonardi G. (1981b) A unifying framework for public facility location problems - part 2: Some new models and extensions, Environment and Planning A, 13, 1085-1108.
- Leonardi G. (1982) A multiactivity location model with accessibility - and congestion - sensitive demand, Sistemi Urbani, 4, 267-310.
- Leonardi G. (1983) The use of random-utility theory in building location-allocation models, in Thisse J.-F., Zoller H.G. (eds.), Locational analysis of public facility, North-Holland, 357-383.
- Leonardi G. (ed.) (1981) Public facility location: issues and approaches, numero monografico, Sistemi Urbani, 3, 293-470.
- Leonardi G., Bertuglia C.S. (1981) Optimal high school location: first results for Turin, Italy, Working Paper 81-5, IIASA, Laxenburg, Austria.
- Leonardi G., Tadei R. (1984) Random utility demand models and service location, Regional Science and Urban Economics, 14, 399-431.
- Mayhew L.D. (1980) The regional planning of health care services: RAMOS and RAMOS<sup>-1</sup>, Working Paper 80-166, IIASA, Laxenburg, Austria.
- Mayhew L.D., Leonardi G. (1981) Equity, efficiency, and accessibility in urban and regional health-care systems, Environment and Planning A, 14, 1479-1507.
- Mayhew L.D., Leonardi G. (1982) Resource allocation in multilevel spatial health care systems: benefit maximisation, Working Paper 16, IRES, Torino.
- McFadden D. (1974) Conditional logit analysis of qualitative choice behavior, in Zarembka P. (ed.) Frontiers in Econometrics, Academic Press, New York, 105-142.

Neuburger H.L.I. (1971) User benefit in the evaluation of transport and land use plans, Journal of Transport Economics and Policy, 5, 52-75.

ReVelle C.S., Marks D., Liebman J.C. (1970) An analysis of private and public sector location models, Management Science, 16, 692-702.

Roy J.R., Johansson B. (1981) On planning and forecasting the location of retail and service activity, Revised version of paper read at Conference on Structural economic planning in time and space, University of Umeå, Sweden.

Sheppard E.S. (1974) A conceptual framework for dynamic location-allocation analysis, Environment and Planning A, 6, 547-564.

Swain R.W. (1974) A parametrix decomposition approach for the solution of uncapacitated location problems, Management Science, 21, 189-198.

Tadei R., Gallino T., Salomone C. (1983) Un'analisi, con il modello RAMOS, della struttura spaziale del servizio sanitario regionale: il caso del Piemonte, Working Paper 25, IRES, Torino.

Tadei R., Gallino T., Salomone C. (1984) Il principio di equità nella localizzazione degli ospedali: una sperimentazione del modello RAMOS<sup>-1</sup> al caso del Piemonte, Working Paper 38, IRES, Torino.

Toregas C., Swain R., ReVelle C., Bergman L. (1971) The location of emergency service facilities, Operations Research, 19, 1363-1373.

Williams H.C.W.L. (1977) On the formation of travel demand models and economic evaluation measures of user benefit, Environment and Planning A, 9, 285-344.

Wilson A.G. (1970) Entropy in urban and regional modeling, Pion, London.



Wilson A.G., Clarke M. (1982) Frameworks for modelling in relation to strategic planning in a health service, Working Paper 334, School of Geography, University of Leeds, Leeds.

Wolsey L.A. (1983) Fundamental properties of certain discrete location problems, in Thisse J.-F., Zoller H. G. (eds.) Locational analysis of public facilities, North-Holland, 331-355.





## WORKING PAPERS

- \*1 "Un modello urbano a larga scala per l'area metropolitana di Torino", *gennaio 1981*
- \*2 "Metodologie per la pianificazione dei parchi regionali", *gennaio 1981*
- \*3 "A Large Scale Model for Turin Metropolitan Area", *maggio 1981*
- \*4 "An Application to the Ticino Valley Park of a Mathematical Model to Analyse the Visitors Behaviour", *luglio 1981*
- \*5 "Applicazione al parco naturale della Valle del Ticino di un modello per l'analisi del comportamento degli utenti: la calibrazione del modello", *settembre 1981*
- \*6 "Applicazione al parco naturale della Valle del Ticino di un modello per l'analisi del comportamento degli utenti: l'uso del modello", *settembre 1981*
- \*7 "Un'analisi delle relazioni esistenti tra superficie agricola utilizzata ed alcune principali grandezze economiche in un gruppo di aziende agricole piemontesi al 1963 e al 1979", *settembre 1981*
- \*8 "Localizzazione ottimale dei servizi pubblici, con esperimenti sulle scuole dell'area torinese", *settembre 1981*
- \*9 "La calibrazione di un modello a larga scala per l'area metropolitana di Torino", *ottobre 1981*
- \*10 "Applicazione al parco naturale della Valle del Ticino di un modello per l'analisi del comportamento degli utenti: l'individuazione di un indicatore di beneficio per gli utenti ed una analisi di sensitività su alcuni parametri fondamentali", *ottobre 1981*
- \*11 "La pianificazione dell'uso ricreativo di aree naturali: il caso del parco della Valle del Ticino", *novembre 1981*
- \*12 "The Recreational Planning of Country Parks: the Case Study of the Ticino Valley Park", *marzo 1982*
- \*13 "Alcuni aspetti della calibrazione di un modello dinamico spazializzato: il caso del modello dell'area metropolitana torinese", *settembre 1982*
- \*14 "L'applicazione di un modello dinamico a larga scala per l'area metropolitana di Torino: la calibrazione", *novembre 1982*
- \*15 "Modello commerciale Piemonte", *novembre 1982*
- \*16 "Resource allocation in multi-level spatial health care systems: benefit maximisation", *dicembre 1982*
- \*17 "Relazione sulla struttura e sulla dinamica del settore elettromeccanico piemontese", *dicembre 1982*
- \*18 "Evoluzione della finanza locale in Piemonte e in Italia 1977 - 1981", *febbraio 1983*
- \*19 "Un metodo per l'analisi di scenari multidimensionali in ordine alle relazioni tra domanda di trasporto e variabili strutturali dei sistemi economici e territoriali", *febbraio 1983*
- 20 "Modello commerciale Piemonte", *marzo 1983*
- \*21 "Calibrating the residential location submodel of the simulation model for the Turin metropolitan area", *giugno 1983*
- \*22 "Dinamiche spaziali dell'area metropolitana di Torino negli ultimi tre decenni", *giugno 1983*
- \*23 "Struttura economica delle imprese del dettaglio alimentare in Piemonte - prime valutazioni", *luglio 1983*
- \*24 "The dynamics of Turin metropolitan area: a model for the analysis of the processes and for the policy evaluation", *agosto 1983*
- 25 "Un'analisi, con il modello RAMOS, della struttura spaziale del servizio sanitario regionale: il caso del Piemonte", *settembre 1983*
- 26 "Manuale per l'uso del modello RAMOS (Resource Allocation Model Over Space)", *settembre 1983*
- 27 "The spatial dynamics of the Turin metropolitan area: an analysis of the last three decades", *ottobre 1983*
- \*28 "Un modello del sistema urbano di Torino: alcune valutazioni di un'esperienza modellistica", *novembre 1983*
- 29 "Il conto economico dei comparti manifatturieri piemontesi, 1980 - Elaborazioni su dati rilevati dall'ISTAT sul Prodotto Lordo delle imprese manifatturiere con sede sociale in Piemonte", *novembre 1983*
- 30 "Interrelazioni tra localizzazioni e trasporti: stato dell'arte e possibili linee di sviluppo futuro", *gennaio 1984*
- 31 "Fondamenti per un approccio unificante all'analisi del comportamento della domanda in un sistema localizzazioni-trasporti", *gennaio 1984*

- 32 "Location-transport relationships: state-of-the-art, unifying efforts and future developments", *maggio 1984*
- 33 "Modelli di allocazione spaziale delle risorse sanitarie: la ricerca in corso all'IRES di Torino", *maggio 1984*
- 34 "Modelli per la determinazione delle aree di intervento dei servizi di emergenza", *giugno 1984*
- 35 "Aspetti metodologici e proposta di modello di clustering dinamico per la identificazione di aree omogenee sanitarie", *settembre 1984*
- 36 "Models for health care planning: the case of the Piemonte Region", *ottobre 1984*
- 37 "The potential for day hospitals in Piemonte. A feasibility study", *ottobre 1984*
- 38 "Il principio di equità nella localizzazione degli ospedali: una sperimentazione del modello RAMOS<sup>-1</sup> al caso del Piemonte", *ottobre 1984*
- 39 "Manuale per l'uso del modello RAMOS<sup>-1</sup>", *ottobre 1984*
- 40 "Il modello IRES per l'area metropolitana di Torino: struttura formale, base di dati, uso per la pianificazione", *novembre 1984*
- 41 "SMIT - Sistema di modelli integrati di trasporto. Procedura per l'uso: manuale e software", *dicembre 1984*





**ires**

ISTITUTO RICERCHE ECONOMICO - SOCIALI DEL PIEMONTE  
VIA BOGINO 21 10123 TORINO